

Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen



Tielaitoksen
selvityksiä

62/1992

Helsinki 1992

Tiehallitus
VTT/TGL

Tielaitoksen selvityksiä
62/1992

Risto Alkio

**Hienoaineksen vaikutus stabiloidun
moreenimurskeen pakkaskestävyyteen**

Tielaitos

Tiehallitus, tutkimuskeskus

VTT/Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio

Helsinki 1992

ISBN 951-47-6632-6

ISSN 0788-3722

TIEL 3200112

Valtion painatuskeskus

Pasilan VALTIMO

Helsinki 1992

Julkaisua myy:

Tiehallitus, painotuotevarasto

Tielaitos

Tiehallitus

Opastinsilta 12 A

PL 33

00521 HELSINKI

Telefax (90) 1487 2698

Puh. vaihde (90) 148 721

ALKIO, Risto: Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. Helsinki 1992, Tiehallitus, Tielaitoksen selvityksiä 62/1992, 28 s.+liitt. 3 s, ISBN 951-47-6632-6, ISSN 0788-3722, TIEL 3200112

Asiasanat moreeni, stabilointi, pakkaskestävyys

Tiivistelmä

Tutkimuksessa käsiteltiin moreenimurskeen hienoaineksen vaikutusta stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. Tutkimus oli jatkoa aiemmin, samasta aihepiiristä tehdyille tutkimuksille.

Tutkimuksessa moreenimurskeelle valittiin kolme eri hienoainespitoisuutta stabilointiohjeiden ohjealueiden perusteella. Kokeina olivat puristuslujuuden määrittäminen stabiloiduista koekappaleista ennen jäädytys-sulatuskoetta ja kokeen jälkeen. Kolmantena kokeena oli rapautumiskoe, jossa koekappaleita harjattiin jäätymis-sulamiskiertojen välissä.

Hienoainesmäärän kasvu lisäsi sideaineen tarvetta samassa suhteessa tavoitelujuuden saavuttamiseksi. Hienoainesmäärän kasvu vaikeutti massan tasaiseksi sekoittumista sekä lisäsi sekoitusaikaa ja tulosten hajontaa.

Jäätymis-sulamiskokeessa 7 ja 28 vrk:n näytteet lujittuivat kokeen aikana, kun taas 91 vrk:n näytteet heikkenivät sitä enemmän, mitä enemmän ne sisälsivät hienoainesta.

Kokeen aikana tapahtuneet kosteusolosuhteiden muutokset vaikuttivat koekappaleiden lujuuskehitykseen. Laatikkosäilytyksen aikana riittävä veden saanti on katkennut ajatellen parhaita lujittumisolosuhteita, mikä on vaikuttanut varsinkin vanhimpien näytteiden lujuuskehitykseen vanhentamista seuranneissa kokeissa.

Rapautumiskokeessa koekappaleiden lähtölujuus oli riittävä sallittavaa painohäviötä ajatellen.

Moreenimurskeen humuksen vaikutuksen eliminoimiseksi riitti lujuuden vaatima sideainepitoisuus, jolla massan pH-arvo nousi hydrataation kannalta edulliseksi.

Alkusanat

Tutkimusmateriaalina oli moreeni, joka usein on sellaisenaan tienrakennukseen kelpaamaton. Mutta jalostettuna sillä on useita käyttömahdollisuuksia tienrakennuksessa. Tutkimuksessa selvitettiin hienoaineksen vaikutusta stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. Tutkimus oli jatkoa tilaajan aikaisemmin, samasta aihepiiristä tehdyille tutkimuksille.

Tutkimuksen tilaajana oli Tiehallitus. Tutkimusta on valvonut ylitarkastaja *Reijo Orama* Tielaitoksen Geopalvelukeskuksesta. Tutkimuksen vastuuhenkilönä ja raportin laatijana Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratoriossa oli erikoistutkija *Risto Alkio*.

 Sisältö

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	7
2 AINEOSAT	8
2.1 Kiviaines	8
2.1.1 Rakeisuus	8
2.1.2 Humuspitoisuus	9
2.2 Sideaine	10
3 KOEJÄRJESTELYT	11
3.1 Ennakkokokeet	11
3.2 Koekappaleiden valmistus	13
3.3 Vertailupuristuslujuus	13
3.4 Jäädytys-sulatuskoe	14
3.5 Rapautumiskoe	14
4 KOKEIDEN TULOKSET	15
4.1 Vertailupuristuslujuus	15
4.2 Jäädytys-sulatuskoe	15
4.3 Rapautumiskoe	16
5 TULOSTEN TARKASTELU	19
5.1 Vertailulujuus	19
5.2 Jäädytys-sulatuskoe	22
5.3 Rapautumiskoe	25
6 YHTEENVETO	26
KIRJALLISUUS	28
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Suomessa on pyrkimyksenä käyttää sekundäärisiä, sellaisenaan tien- ja kadunrakennukseen kelpaamattomia materiaaleja ja teollisuuden sivutuotteita. Suomessa hyvin yleisesti esiintyvä maalaji on moreeni. Moreeni on kuitenkin vaikeasti hyödynnettävä suuren hienoaines- ja humuspitoisuuden sekä rakeisuusvaihtelun vuoksi. Moreenin käyttökelpoisuutta voidaan parantaa mm. sitä murskaamalla ja stabiloimalla.

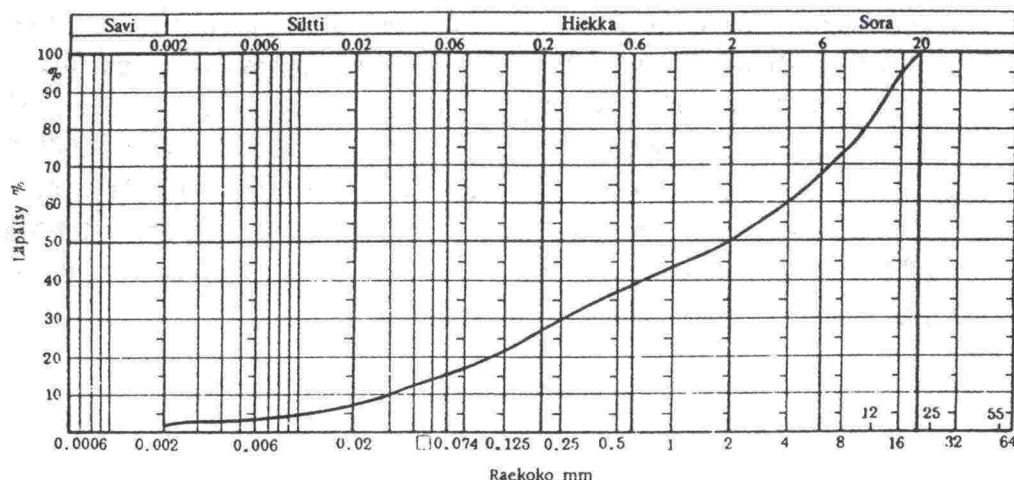
Kokeen tarkoituksena oli selvittää hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. Kokeessa kiviaineksena oli moreenimurske, josta valmistettiin suhteittamalla kolme eri hienoainesmäärää omaavaa materiaalia. Sideaineena oli yleissementti. Tutkimus on jatkoa aikaisemmin samasta aihepiiristä tehdyille selvityksille "Moreenimurskeen stabilointikoe" /1/ ja "Stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyys" /2/. Selvityksissä tutkittiin jauhetun granuloidun masuunikuonan soveltuvuutta moreenimurskeen stabilointiin sekä kuonalla ja sementillä stabiloitujen moreenimurskeiden pakkaskestävyyttä eri sideainepitoisuuksilla. Kokeissa käytettiin rakeisuudeltaan samanlaisia materiaaleja. Kokeita jatkettiin moreenimurskeen hienoainesmäärän vaikutuksen selvittämiseksi puristuslujuuteen sekä pakkaskestävyyteen.

2 AINESOSAT

2.1 Kiviaines

2.1.1 Rakeisuus

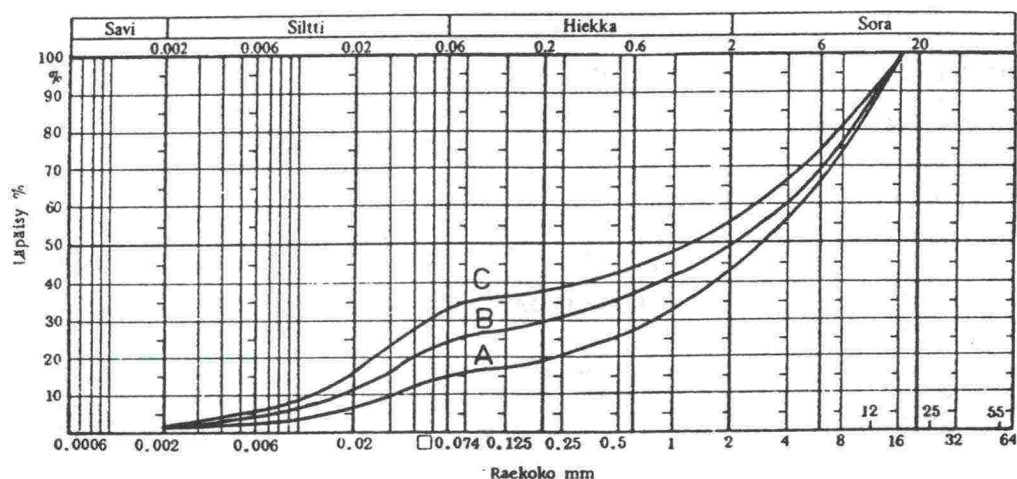
Moreenimurskeeksi valittiin sama Keuruun moreenimurske 0 - 16 mm, jota käytettiin edellisessä, samaa aihepiiriä käsittelevässä tutkimuksessa "Stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyys" /2/. Moreenimurskeen rakeisuuskäyrä on kuvassa 1. Rakeisuus on samanlainen kuin edellisessä tutkimuksessakin.



Kuva 1: Keuruun moreenimurskeen rakeisuuskäyrä.

Hienoaineksen vaikutuksen selvittämiseksi valittiin kolme erilaista rakeisuuskäyrää stabilointiohjeiden /3/ kiviaineksen ohjealueiden perusteella. Käyrän 0,074 mm läpäisyprosentteiksi valittiin 16, 27 ja 35 %.

Edellä mainittujen lähtöarvojen perusteella kokeisiin suhteitettiin rakeisuuskäyrät liitteessä 1 olevan käyrästön avulla. Käyrästö on laadittu ns. tiiveimmän pakkauksen mukaisesti. Tämä saadaan yhtälöstä $y = x^a$, jossa $x = d / d_{maks}$, kun d_{maks} tarkoittaa suurimman rakeen kokoa, d mielivaltaista raekokoa ja y d:tä pienemmän raepitoisuuden määrää. Eksponentin a arvo on 0,45. Käyrästön avulla suhteitettuna pyrittiin materiaalien muut ominaisuudet pitämään mahdollisimman samanlaisina. Suhteitusta varten morenimurske jaettiin seuralajitteisiin 0 - 0,074, 0,074 - 0,125, 0,125 - 0,250, 0,250 - 0,5, 0,5 - 1, 1 - 2, 2 - 4, 4 - 8, 8 - 12 ja 12 - 16 mm. Kokeissa käytetyt rakeisuudet esitetään kuvassa 2. Jäljempänä käyriä ja niistä tehtyjä



Kuva 2: Kokeissa käytetyt suhteitetut moreenimurskeen rakeisuus-käyrät.

massoja kutsutaan nimillä käyrä/massa A (0,074 mm:n läpäisy 16 %), käyrä/massa B (27 %) ja käyrä/massa C (35 %).

2.1.2 Humuspitoisuus

Kiviaineksesta määritettiin humuspitoisuus NaOH- ja polttomenetelmällä. Arvot määritettiin seitsemästä osanäytteestä fraktioista 0 - 6 ja 0 - 16 mm. Polttomenetelmässä näytteet kuivattiin ensin 60 °C:ssa. NaOH-menetelmällä moreenimurskeelle tuli humusasteeksi II - III. Fraktion 0 - 6 mm polttohäviön keskiarvoksi saatiin 0,63 % vaihteluvälin ollessa 0,59 - 0,68 %. Fraktiolla 0 - 16 mm vastaavat arvot olivat 0,59 ja 0,52 - 0,71 %.

Edellisessä raportissa /2/ Keuruun moreenimurskeen humuspitoisuus oli NaOH-menetelmällä määritettynä II - III ja polttomenetelmällä määritettynä 0,46 - 0,48 %.

Humuksen vaikutusta massan pH-arvoon selvitettiin pH-mittauksin. Arvot mitattiin pelkästä moreenin hienoaineksesta (< 0,074 mm) ja hienoaineksesta, johon sekoitettiin sementtiä massojen A, B ja C mukaisesti 2,5, 3,5 ja 5,5 %. Kokeessa 50 g moreenia ja 100 ml tislattua vettä sekoitettiin keskenään. Arvot mitattiin suspensiosta ja vedestä heti sekoituksen jälkeen ja tunnin kuluttua. Arvot on esitetty taulukossa 1. Pelkällä moreenilla arvot olivat lievästi happamia. Sementtilisäykset nostivat arvot emäksisiksi. Pieninkin käytetty sementin lisäys nosti pH-arvon riittävän emäksiseksi hydrataation kannalta. Tämän mukaan ylimääräinen sementinlisäys humuksen vaikutuksen eliminoimiseksi on tarpeeton. Massan lujittumisen kannalta on oleellista, että hydrataatiossa syntyvää kalsiumhydroksidia on

riittävästi neutraloimaan humushappojen vaikutusta. Jos kalsiumhydroksidia ei muodostu riittävästi, alkavat lujat silikaattiset hydrataatiotuotteet hajota. Humushappojen vaikutus lujittumiseen on yleisen käsityksen mukaan vain lujittumisnopeutta hidastava.

Taulukko 1: Moreenimurskeen (< 0,074 mm, MOR) sekä moreenimurskemassojen A, B ja C pH-arvot.

	Sekoituksen jälkeen		1 h sekoituksesta	
	vesi	suspensio	vesi	suspensio
MOR	6,9	5,1	6,2	5,4
A	11,3	11,2	11,5	11,3
B	11,3	11,2	11,5	11,5
C	11,4	11,2	11,4	11,4

2.2 Sideaine

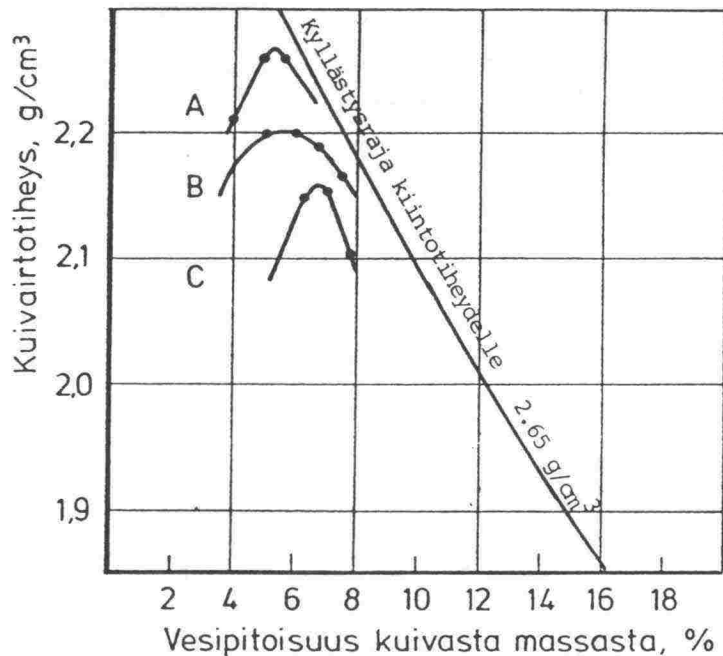
Sideaineena oli Oy Lohja Ab:n yleissementti Y 40/28. Sementissä oli valmistajan mukaan 13 % lentotuhkaa ja 6 % kalkkikiveä. Hienousaste oli 360 bleiniä. Edellisen tutkimuksen /2/ yleissementissä oli 17 % lentotuhkaa ja 6 % kuonaa sekä hienousaste 350 bleiniä.

3 KOEJÄRJESTELYT

3.1 Ennakkokokeet

Suhteitetuista materiaaleista A, B ja C määritettiin alustava sideainepitoisuus kiviaineksen raakoostumuksen ja maksimikuivairtiheyden perusteella sementtistabilointiohjeiden /3/ nomogrammista.

Maksimikuivairtiheyden määrittämiseksi materiaaleista tehtiin proctor-koe parannetun menetelmän mukaisesti 4" muottia käyttäen ilman sementtiä. Proctor-käyrät esitetään kuvassa 3. Materiaalin A maksimikuivairtiheys on $2,28 \text{ g/cm}^3$ ja optimivesipitoisuus 5,5 %. Materiaalin B vastaavat arvot ovat $2,20 \text{ g/cm}^3$ ja 5,6 % sekä materiaalin C arvot $2,16 \text{ g/cm}^3$ ja 6,6 %. Taulukkoon 2 on kerätty materiaalien ja massojen keskeisiä arvoja vertailun helpottamiseksi.

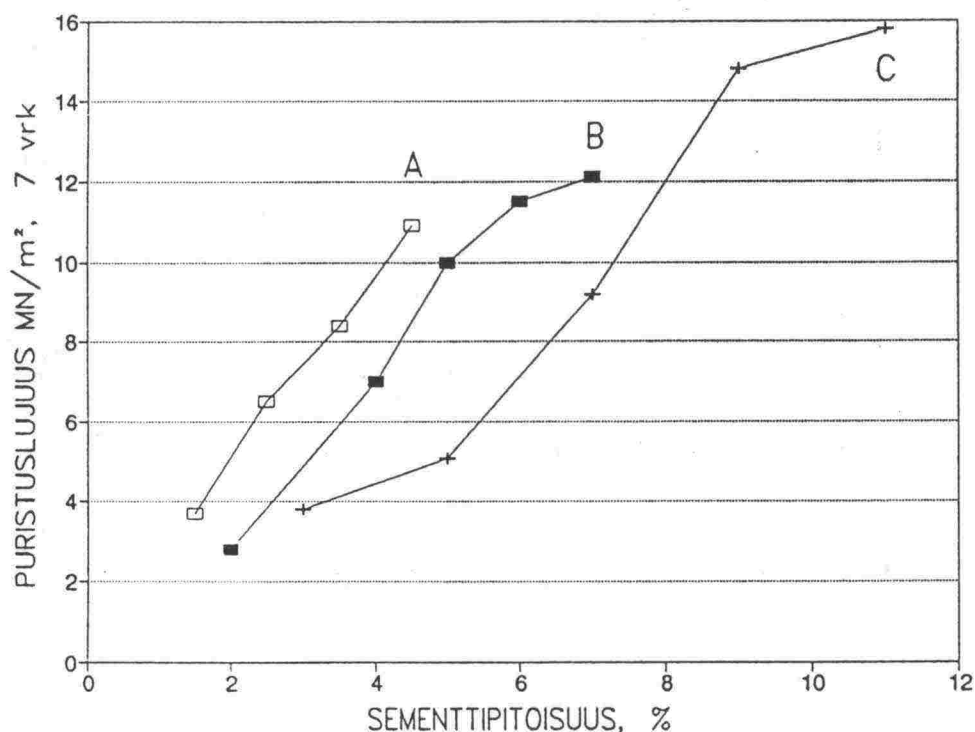


Kuva 3: Materiaalien A, B ja C proctor-käyrät.

Taulukko 2: Moreenimurskeiden ja stabilointimassojen keskeisiä numeerisia arvoja.

	Moreenimurske				Stabilointimassa		
	Läpäisy-%		Optimi- vesi- pitoi- suus %	Maks. kuiva- irto- tiheys g/cm ³	Sementti- pitoisuus, %		Kuiva- irto- tiheys g/cm ³
	0,074 mm	4 mm			Kokeell.	Nomogr.	
A	16	56	5,5	2,28	2,5	3,9	2,26
B	27	61	5,6	2,20	3,5	5,3	2,21
C	35	67	6,6	2,16	5,5	6,9	2,17

Sementtipitoisuuden valinnassa käytettiin nomogrammia /3/ apuna. Alustavien lujuuskokeiden (7 vrk) perusteella koesarjaa täydennettiin, koska valituilla sideainepitoisuuksilla saatiin haluttua 7 vrk:n puristuslujuutta (6 MN/m²) suurempia lujuuksia. Kuvassa 4 esitetään massojen 7 vrk:n lujuus



Kuva 4: Massojen A, B ja C 7 vrk:n lujuus sideainepitoisuuden funktiona.

keskiarvona sideainemäärän funktiona. Liitteessä 2 on esitetty yksittäiset lujuusarvot.

Lujuuskehityksen perusteella haluttu 6 MN/m^2 lujuus 7 vrk:n vanhoille näytteille saatiin massalla A 2,5 %:n, massalla B 3,5 %:n ja massalla C 5,5 %:n sementtipitoisuudella. Hienoainemäärä lisäsi sideainemäärää tavoitelujuuteen pääsemiseksi. Tämä on epätaloudellista ja lisää halkeamaa. Suuri hienoainemäärä vaikeutti sideaineen sekoittumista massaan tasaisesti ja vaikuttaa täten stabilointimassan homogeenisuuteen.

Lujuus- ja säänkestokokeisiin valittiin ennakkokokeiden perusteella vesipitoisuudeksi massalle A 5,5 %, massalle B 6,0 % ja massalle C 7,0 %. Kriteerinä oli veden tihkuminen näytteestä proctor-sullonnan loppuvaiheessa.

Voimassa olevien stabilointiohjeiden /3/ nomogrammi antoi murskeelle A sideainepitoisuudeksi 3,9 %, murskeelle B 5,3 ja murskeelle C 6,9 %. Käytettävissä oli myös ehdotus uuden stabilointiohjeiden nomogrammiksi. Se antoi moreenimurskeelle A sementtipitoisuudeksi 3,4 % ja moreenimurskeelle B 6,4 %. Kokeellisesti saatiin tarvittava lujuus (6 MN/m^2) murskeelle A 2,5 %:n ja murskeelle B 3,5 %:n sideainepitoisuudella. Murskeelle C uutta nomogrammia soveltaen saatiin sideainepitoisuudeksi 8,2 % ja kokeellisesti 5,5 %. Käytössä olevan nomogrammin lujuustaso (7 vrk) on 3 - 4 MN/m^2 , kun se ehdotuksen mukaisessa nomogrammissa on 6 MN/m^2 .

3.2 Koekappaleiden valmistus

Koekappaleet valmistettiin proctor-laitteella parannetun menetelmän mukaisesti 4" muottia käyttäen. Jokaisen koekappaleen kiviaines suhteitettiin erillisistä fraktioista. Massa sekoitettiin kuivana ja uudelleen veden lisäyksen jälkeen. Sullottuja koekappaleita säilytettiin laboratorihuoneessa olleissa kannellisissa muovilaatikoissa. Laatikkotila pidettiin kosteana ja säilytyslämpötila oli huoneilman lämpötila. Koekappaleita valmistettiin vertailupuristuslujuuden määrittystä varten 27 kpl, jäätymis-sulamiskoetta varten 27 kpl ja rapautumiskoetta varten 27 kpl eli yhteensä 81 kpl.

Koekappaleista laskettiin kuivairtitiheydet. Massasta A tehdyillä koekappaleilla kuivairtitiheyden keskiarvo oli $2,263 \text{ g/cm}^3$ ja vaihteluväli $2,247 - 2,287 \text{ g/cm}^3$. Massalla B arvot olivat vastaavasti $2,212 \text{ g/cm}^3$ ja $2,193 - 2,232 \text{ g/cm}^3$ sekä massalla C $2,169 \text{ g/cm}^3$ ja $2,153 - 2,186 \text{ g/cm}^3$.

3.3 Vertailupuristuslujuus

Pakkaskokeiden alkaessa määritettiin vastaavista vertailukoekappaleista puristuslujuus, jotta saataisiin selville pakkaskokeisiin joutuvien massojen lujuus kokeen alkaessa. Lujuudet määritettiin 7, 28 ja 91 vrk:n vanhoista näytteistä. Massoista tehtiin kolme rinnakkaisnäytettä. Koekappaleiden päät tasattiin rikkilaastilla ennen puristusta. Puristusnopeutena oli 0,14 MN/m²/s.

3.4 Jäädytys-sulatuskoe

Jäädytys-sulatuskokeessa koekappaleet sijoitettiin koestusikäisinä muovilaatikoihin, joiden pohjalla oli kosteana pidettävä huopa. Huovasta koekappaleet imivät vettä kapillaarisesti.

Laatikat asetettiin 24 tunniksi pakkaskaappiin, jonka lämpötila oli -23 °C. Tämän jälkeen laatikot tuotiin laboratorihuoneeseen ja näytteiden annettiin sulaa 23 tunnin ajan. Jokaisen sulamisvaiheen jälkeen koekappaleet käännettiin ympäri. Jäädytys-sulatuskiertoja oli 12 kpl. Kiertojen jälkeen koekappaleista määritettiin puristuslujuus ja tarkasteltiin niitä silmämääräisesti.

Koekappaleiden koestusiät olivat 7, 28 ja 91 vrk. Rinnakkaisnäytteitä oli 3 kpl.

3.5 Rapautumiskoe

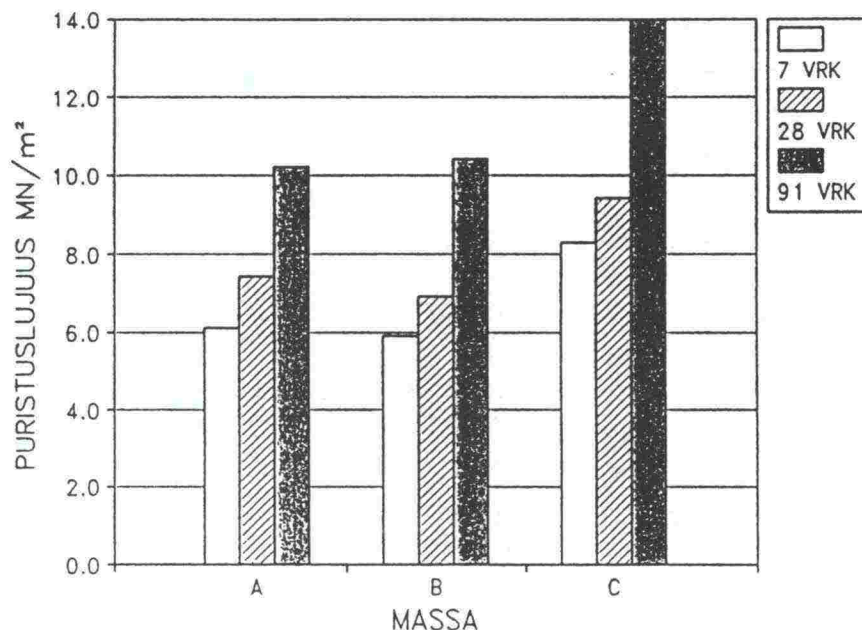
Rapautumiskoe oli samanlainen kuin jäätymis-sulamiskoe, mutta kiertojen välillä koekappaleita harjattiin teräsharjalla. Koemenetelmä noudatti pääosin normia AASHTO T 136-70.

Koekappaleen jokainen pinta harjattiin edestakaisella voimakkaalla (voima pintaa vasten noin 1,5 kg) harjanvedolla kiertojen aikana löyhtyneen aineksen irrottamiseksi. Kiertojen (12 kpl) ja koekappaleiden punnituksen jälkeen koekappaleet kuivattiin uunissa (105 °C) kuivapainon laskemiseksi. Kyseisillä materiaaleilla arvioitiin normin AASHTO T 135-70 mukaisesti reaktioissa sitoutuneeksi ja kuivauksessa irtoamattomaksi vesimääräksi massoilla A ja B 2,5 % sekä massalla C 3,0 %. Kyseinen vesimäärä vähennettiin kuivapainosta.

4 KOKEIDEN TULOKSET

4.1 Vertailupuristuslujuus

Vertailulujuus määritettiin 7, 28 ja 91 vrk:n vanhoista näytteistä. Rinnakkaisnäytteitä oli 3 kpl. Tulokset on esitetty kuvassa 5 (keskiarvot) ja yksittäiset arvot liitteessä 3. Koelieriöiden korkeus oli 11,7 cm ja halkaisija 10,2 cm, joten korkeuden (h) suhde halkaisijaan (D) on 1,15. Esimerkiksi ASTO -projektin sementtistabilointiraportissa /4/ olevasta korjauskäyrästä (lieriön h/D / puristuslujuus) saadaan puristuslujuuden korjauskertoimeksi 1,04. Puristuslujuudet on korjattu ko. kertoimella.

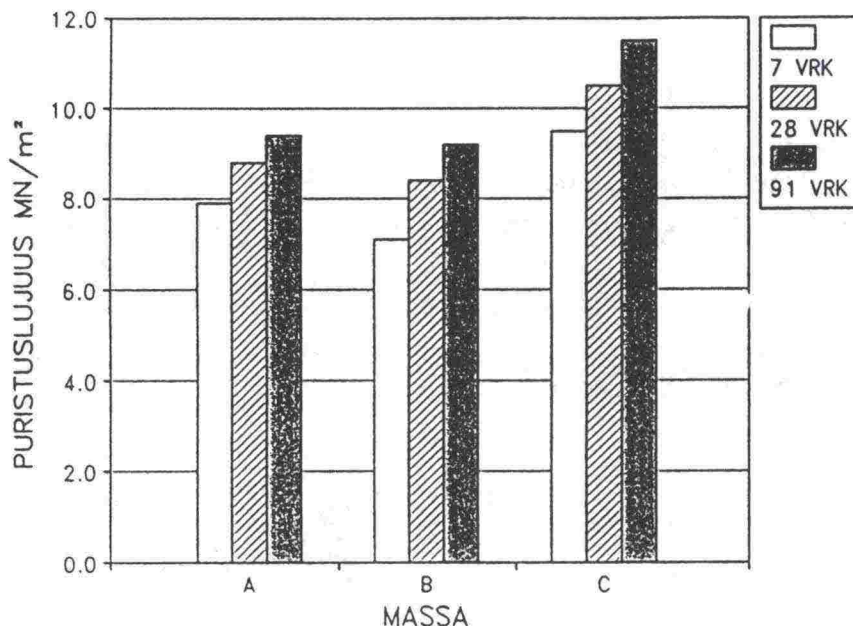


Kuva 5: Koekappaleiden vertailupuristuslujuudet.

Massojen A ja B lujuuskehitys oli ennakkokokeen mukainen. Massan C alkulujittuminen oli suurempi kuin ennakkokokeessa. Massan A 7 vrk:n puristuslujuudeksi 2,5 %:n sideainemäärällä tuli 6,1 MN/m², massan B 3,5 %:n sideainepitoisuudella 5,9 MN/m² ja massan C 5,5 %:n sideainepitoisuudella 8,3 MN/m². Vastaaviksi loppulujuuksiksi saatiin 10,2, 10,4 ja 14,0 MN/m².

4.2 Jäädytys-sulatuskoe

Jäädytys-sulatuskokeen jälkeen mitatut puristuslujuudet on esitetty kuvassa 6 ja liitteessä 4. Kuvan 6 arvot ovat kolmen rinnakkaisnäytteen keskiarvoja.



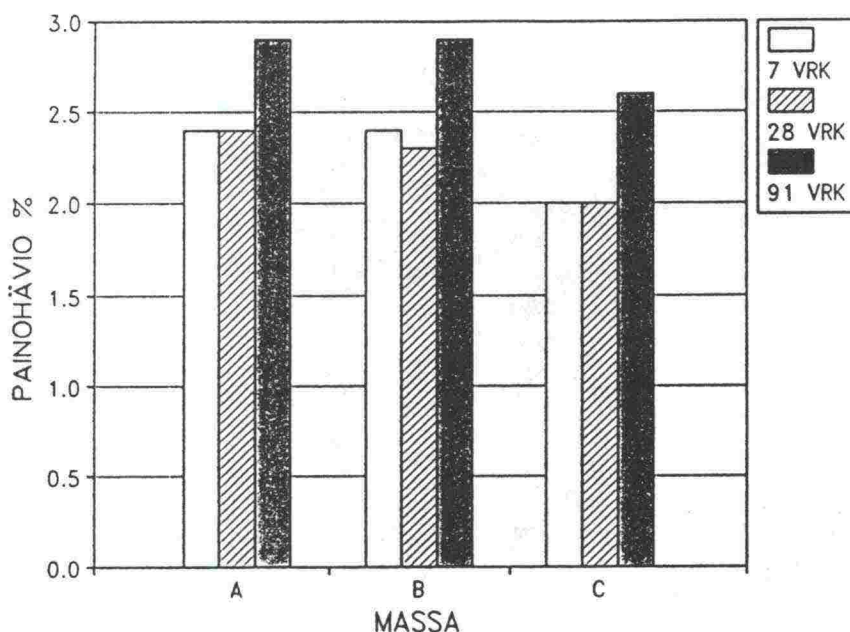
Kuva 6: Koekappaleiden puristuslujuudet jäädytys-sulatuskokeen jälkeen.

Massan A 7 vrk:n lujuus oli kokeen jälkeen $7,9 \text{ MN/m}^2$, 28 vrk:n lujuus $8,8 \text{ MN/m}^2$ ja 91 vrk:n lujuus $9,4 \text{ MN/m}^2$. Massan B vastaaviksi lujuuksiksi tuli $7,1$, $8,4$ ja $9,2 \text{ MN/m}^2$ sekä massan C $9,1$, $10,5$ ja $11,5 \text{ MN/m}^2$. Massojen A ja B lujuudet olivat keskenään samaa tasoa kuten ne olivat myös vertailupuristuslujuuksissa. Massan C lujuudet olivat suurempia kuin massojen A ja B lujuudet johtuen lähtölujuuseroista. Kuitenkin tasoerot ovat selvästi pienentyneet kokeen aikana verrattaessa lähtölujuuseroihin varsinkin 91 vrk:n näytteillä.

Kokeen jälkeen koekappaleita tarkasteltiin silmämääräisesti. Kaikkien koelieriöiden sivut ja alapinnat olivat täysin virheettömät. Muutamissa koekappaleissa yläpinnassa oli pieniä halkeamia. Tämä johtuu siitä, että proctor-sullonnan jälkeisessä yläpinnan tasauksessa se jää muuta osaa löyhemmäksi. Kokeen aikana sulamisen jälkeen 91 vrk:n vanhojen koekappaleiden pinta oli muiden koekappaleiden pintaa selvästi kosteampi.

4.3 Rapautumiskoe

Rapautumiskokeen tulokset esitetään kolmen rinnakkaisnäytteen keskiarvoina kuvassa 7 ja kokonaisuudessaan liitteessä 5. Rapautumiskestävyys on riippuvainen koekappaleen lujuudesta, jota kokeessa ilmentää puristuslujuus. Aikaisemmassa tutkimuksessa /2/ vaadittava rapautumiskestävyys

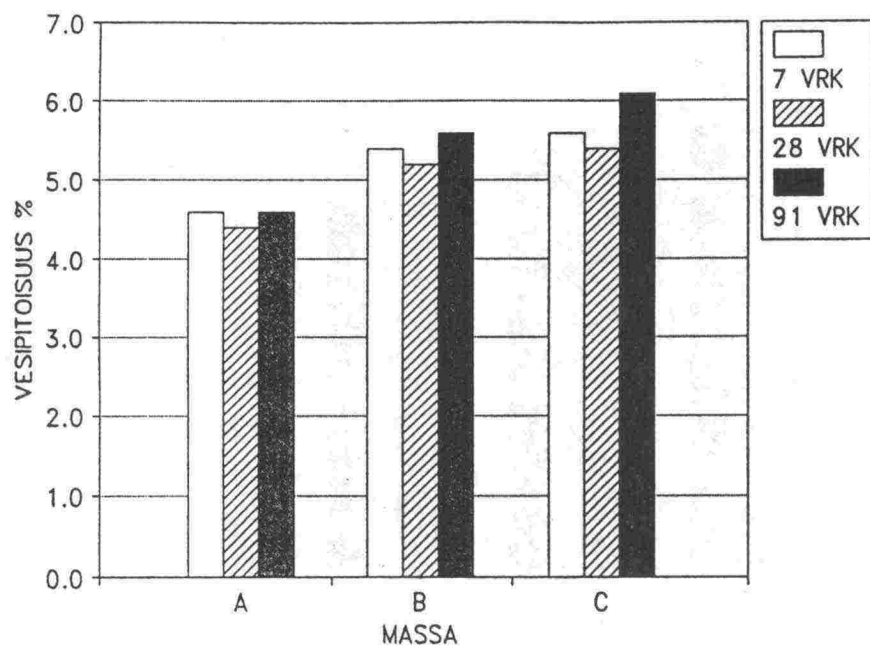


Kuva 7: Koekappaleiden painohäviöt rapautumiskokeessa.

saavutettiin yli 4 MN/m^2 puristuslujuuksilla, jolloin painohäviö oli alle 5 %. Koekappaleiden alhaisin lähtölujuus oli noin 6 MN/m^2 . Painohäviöt olivat erittäin vähäiset yksittäisten arvojen ollessa välillä 1,8 - 3,2 %. Suurimmat painohäviöt olivat 91 vrk:n näytteillä.

Koekappaleita harjatessa materiaalia irtosi eniten niiden yläpinnasta, joka jää valmistusvaiheessa löyhimmäksi. Myös tässä kokeessa 91 vrk:n koekappaleet olivat sulamisvaiheessa silmämääräisesti tarkastellen pinnoiltaan selvästi kosteimmat.

Kokeen jälkeen koekappaleet kuivattiin painohäviön laskemiseksi ja samalla laskettiin niiden vesipitoisuus. Vesipitoisuudet on esitetty kuvassa 8 kolmen rinnakkaisnäytteen keskiarvona. Liitteessä 3 ovat yksittäisarvot. Massojen 91 vrk:n koekappaleiden vesipitoisuus oli samaa tasoa tai vain hieman suurempi kuin nuorempien koekappaleiden huolimatta havaitusta pintamärkyydestä. Kosteus ei ollut tunkeutunut vielä pintaa syvemmälle.



Kuva 8: Koekappaleiden vesipitoisuus kokeen jälkeen.

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Vertailulujuus

Massojen sideainepitoisuudet valittiin 7 vrk:n ennakkokoe tulosten perusteella siten, että 7 vrk:n puristuslujuus olisi noin 6 MN/m^2 . Massalle A sideainepitoisuudeksi valittiin 2,5 %, massalle B 3,5 % ja massalle C 5,5 %. Massojen A ja B puristuslujuudet olivat keskenään hyvin samanlaiset ja 7 vrk:n lujuus oli ennakkokokeen mukainen. Massan C 7 vrk:n lujuudeksi tuli $8,3 \text{ MN/m}^2$, kun se ennakkokokeessa oli 5,0 %:n sideainemäärällä $5,1 \text{ MN/m}^2$ ja 7 %:n sideainemäärällä $9,2 \text{ MN/m}^2$. Hienoainepitoisuus lisäsi sideainepitoisuutta tavoitelujuuteen pääsemiseksi.

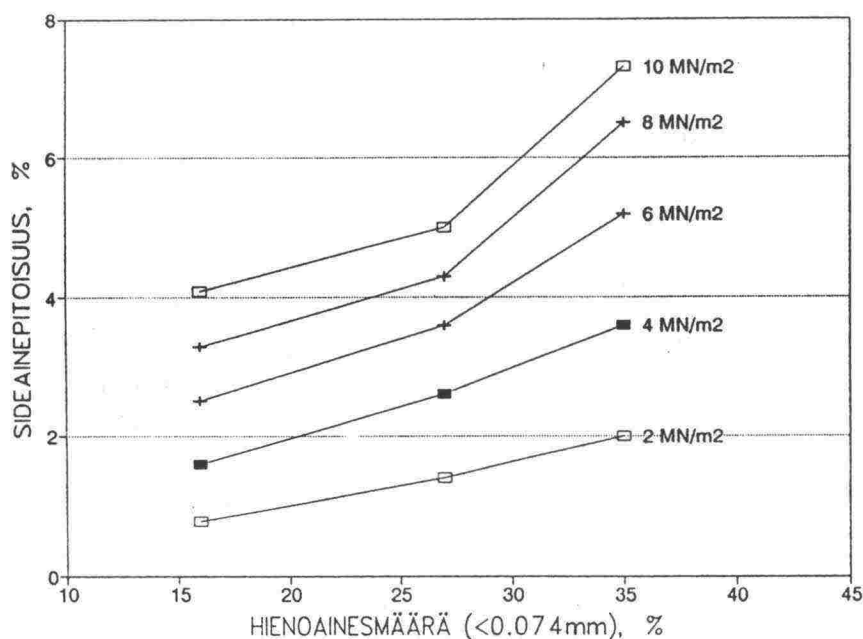
Massan C ennakkokokeen alhaiset lujuusarvot voivat johtua mahdollisista säilytyslämpötilaeroista (huoneilmalämpötila), 0,4%-yksikköä alhaisemmasta vesipitoisuudesta tai moreenin laadun vaihteluista. Massan A 91 vrk:n lujuudeksi tuli $10,2 \text{ MN/m}^2$, massan B $10,4 \text{ MN/m}^2$ ja massan C $14,0 \text{ MN/m}^2$. Enakkokokeiden yksittäiset arvot ja keskihajonnat sekä 95 %:n luottamusvälit on esitetty liitteessä 2. Hajontoja arvioitaessa tulee huomioida rinnakkaisnäytteiden vähyys.

Voimassa olevan stabilointiohjeen nomogrammi antoi sideainepitoisuudeksi selvästi alempia ja lähempänä kokeellisesti saatuja sideainepitoisuuksia kuin uusi nomogrammi. Voimassa olevalla nomogrammilla saatiin 1,4 - 1,8 %-yksikköä suurempia sideainepitoisuuksia kuin kokeellisesti. Lisäksi se soveltuu uutta nomogrammia paremmin suuren hienoainemäärän omaväille aineksille.

Uudesta nomogrammista alustavaksi sideainepitoisuudeksi käyrälle A tulee noin 3,4 % ja käyrälle B noin 6,4 %, jos 7 vrk:n puristuslujuudeksi halutaan 5 MN/m^2 . Lisäksi tulee käyttää 1 - 2 % suurempaa sideainepitoisuutta, jos tavoitelujuus on $> 6 \text{ MN/m}^2$ tai kiviaineksen humusluokka on II-luokkaa korkeampi. Käyrälle C nomogrammiasteikko ei suoraan riitä eikä sovellu suuren hienoainepitoisuuden vuoksi. Asteikkoa soveltamalla sideainepitoisuudeksi saatiin 8,2 %.

Ottamalla huomioon lähtölujuustaso 6 MN/m^2 ja humusluokka II - III tulisi uuden nomogrammin antamiin sideainemääriin lisätä 2 %-yksikköä sideainetta. Näin massan A sideainepitoisuudeksi tulisi 5,4, massan B 8,4 ja massan C 10,2 %. Nämä pitoisuudet ovat noin kaksinkertaiset kokeellisiin arvoihin nähden.

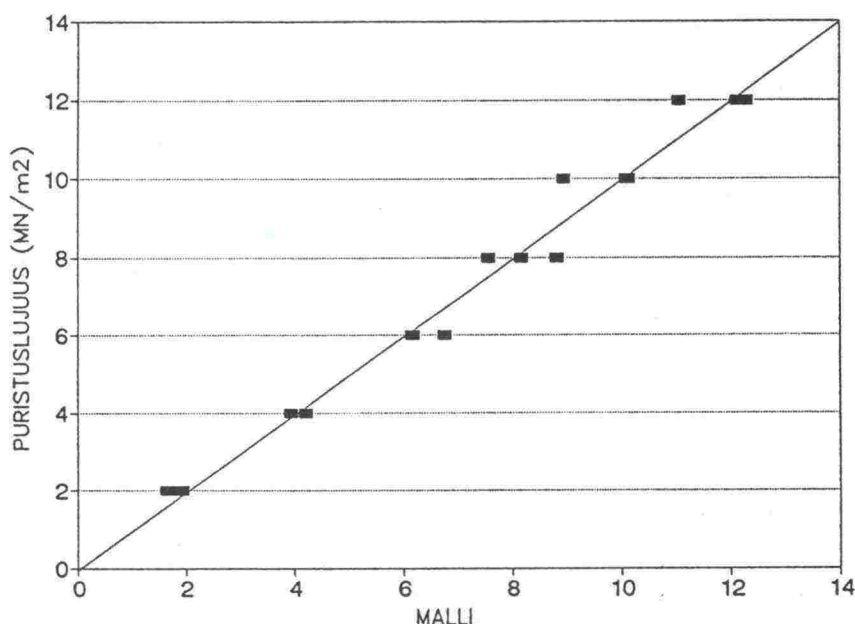
Kuvassa 9 on esitetty ennakkokokeiden perusteella saatu sideainepitoisuuden riippuvuus hienoainesmäärästä (< 0,074 mm) eri lujuustasoilla. Hienoainesmäärän kasvu lisäsi sideaineen tarvetta lähes samassa suhteessa saman lujuuden saavuttamiseksi. Hienoainesmäärän nousu 2,2 kertaiseksi vaati sideainetta keskimäärin 2,1 kertaisen määrän.



Kuva 9: Hienoainesmäärän (0,074 mm) vaikutus sideainepitoisuuteen eri lujuustasoilla.

Massoja sekoitettaessa hienoainesmäärän kasvu vaikeutti selvästi sideaineen tasaista sekoittumista ja lisäsi sekoitusaikaa. Kentällä tapahtuvaa paikallasekoitusta ajatellen hienoainesmäärän kasvu lisää sekoitusmäärää huomattavasti. Moreenia stabiloitaessa yhtä sekoitusylitystä on pidettävä aivan riittämättömänä.

Kuvassa 10 on esitetty monimuuttujamallin ja puristuslujuuden (7 vrk) riippuvuus ennakkokokeiden tulosten perusteella. Mallin avulla selitetään puristuslujuutta sideaine- ja hienoainespitoisuudella sekä niiden yhteisvaikutuksella. Puristuslujuus = $-0,08 \times A + 3,23 \times B - 0,047 \times (A \times B) + 1,20$, jossa A= hienoainespitoisuus (< 0,074 mm), % ja B= sideainepitoisuus, %. Korrelaatiokertoimeksi tuli $r = 0,99$.



Kuva 10: Monimuuttujamallin ja puristuslujuuden välinen riippuvuus.

Taulukossa 3 on esitetty vertailulujuuksien keskiarvot ja keskihajonnat sekä 95 %:n luottamusväli hajonta huomioiden. Tämä luottamusväli peittää todellisen arvon 95 %:n varmuudella. Laskuissa on otettu mukaan myös kolme hylättyä arvoa aineiston vähyyden vuoksi. Näitä ei ole huomioitu edellä olleissa tarkasteluissa. Näin asiaa tarkastellen hajonnasta aiheutuu suurempi sideainepitoisuuden tarve kuin kokeellisesti saatiin hylkäämällä muista poikkeavat arvot.

Taulukko 3: Vertailupuristuslujuuksien keskiarvo ja keskihajonta sekä 95 %:n luottamusväli.

Massa	Keskiarvo, MN/m ²			Keskihajonta, MN/m ²			95-% luottamusväli, MN/m ²		
	7 vrk	28 vrk	91 vrk	7 vrk	28 vrk	91 vrk	7 vrk	28 vrk	91 vrk
A	6,1	7,4	10,2	0,1	0,4	0,3	6,0 - 6,9	6,9 - 7,9	9,9 - 10,5
B	5,9	6,3	9,5	0,5	1,0	1,5	5,4 - 6,4	5,2 - 7,4	7,7 - 11,2
C	8,3	8,9	14,0	0,2	0,8	1,2	8,2 - 8,5	8,0 - 9,8	12,6 - 15,3

Aiemmassa tutkimuksessa [2] valittiin Keuruun moreenimurskeen sideainepitoisuudeksi 3,5 % ja vesipitoisuudeksi 6,0 %. Hienoainesta (< 0,074 mm) oli 14 %. Massan lujuuskehitys oli selvästi alhaisempaa. Alkulujuudeksi (7 vrk) saatiin 3,0 MN/m², 28 vrk:n lujuudeksi 6,2 MN/m² ja 91 vrk:n lujuudeksi 4,4 MN/m². Tutkimuksessa toisena olleen Lavian moreenimurs-

keen lujuuskehitys oli samaa tasoa, mutta kuitenkin niin, että lujuus kasvoi iän myötä. Syytä Keuruun moreenimurskeen poikkeavaan kehitykseen ei ole tiedossa.

Tässä tutkimuksessa lujuuskehitys oli selvästi nopeampaa. Syynä voivat olla erot säilytysolosuhteissa, sideaineessa ja materiaaleissa. Suurin syy saattaa olla koekappaleiden säilytystavassa. Aikaisemmassa tutkimuksessa koekappaleet olivat muovipusseissa laatikoissa ja nyt ilman pusseja, mikä vaikuttaa koekappaleiden kosteustilaan ja sitä kautta lujittumiseen. Korkeakoulussa tehdyssä diplomityössä /5/, jossa massana oli sama massa kuin aiemmassa tutkimuksessa, koekappaleiden lujuuskehitys kosteushuoneessa oli samaa luokkaa ja samanlainen kuin tässä tutkimuksessa.

Nyt saadut suuremmat lujuudet pienemmällä sideainepitoisuudella johtuvat eritoten erilaisista rakeisuuskäyristä ja säilytystapaeroista. On kuitenkin syytä muistaa moreenimurskeen epähomogeenisuus. Moreenimurskeen laatu vaihteli varastokasassa silmämääräisesti tarkastellen, joten eroja syntyy eri tutkimusten kesken aina jonkin verran.

5.2 Jäädytys-sulatuskoe

Jäädytys-sulatuskokeen jälkeen mitatut puristuslujuudet massoilla A ja B olivat keskenään samaa tasoa ja massan C lujuudet suurempia kuten oli myös vertailupuristuslujuuksissa. Jäädytys-sulatuskokeessa massan C puristuslujuudet olivat 20 - 24 % suuremmat kuin massoilla A ja B. Vertailupuristuslujuuksissa vastaava ero oli 31 - 38 %.

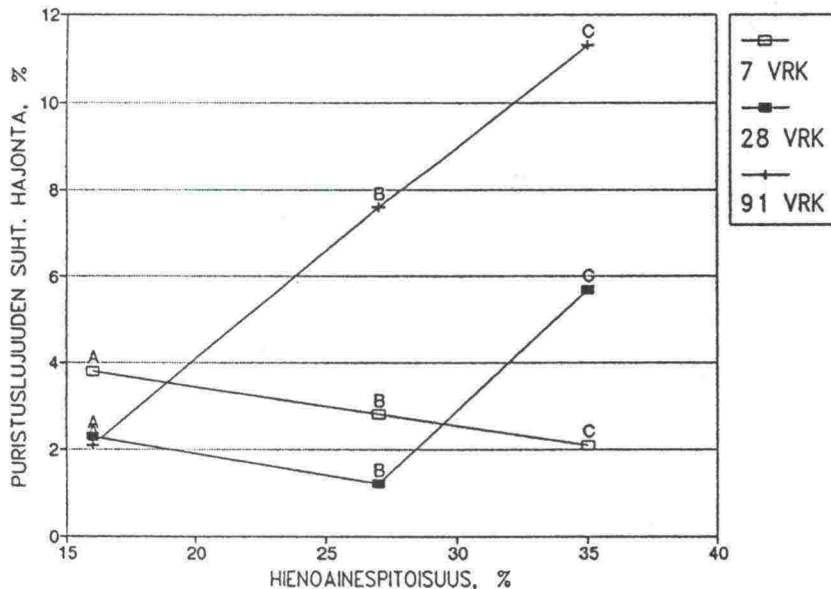
Taulukossa 4 on esitetty jäädytys-sulatuskokeen jälkeiset puristuslujuuksien keskiarvot ja keskihajonnat sekä 95 %:n luottamusväli.

Taulukko 4: Jäädytys-sulatuskokeen jälkeiset puristuslujuuksien keskiarvo ja keskihajonta sekä 95 %:n luottamusväli.

Massa	Keskiarvo, MN/m ²			Keskihajonta, MN/m ²			95-% luottamusväli, MN/m ²		
	7 vrk	28 vrk	91 vrk	7 vrk	28 vrk	91 vrk	7 vrk	28 vrk	91 vrk
A	7,9	8,8	9,4	0,3	0,2	0,2	7,5 - 8,2	8,6 - 9,1	9,1 - 9,6
B	7,1	8,4	9,2	0,2	0,1	0,7	6,9 - 7,4	8,3 - 8,5	8,4 - 9,9
C	9,5	10,5	11,5	0,2	0,6	1,3	9,3 - 9,8	9,8 - 11,2	9,9 - 13,0

Kuvassa 11 on esitetty kokeen jälkeen tehtyjen puristuslujuuksien suhteelliset hajonnat hienoainespitoisuuteen nähden. Tarkastelu sideainepitoisuuden suhteen antaisi samanlaisen tuloksen, koska sideainepitoisuus

kasvoi hienoainespitoisuuden kasvaessa. Kokeen jälkeisten puristuslujuuksien hajonnat ovat kasvaneet koestusiän ja hienoainespitoisuuden myötä.

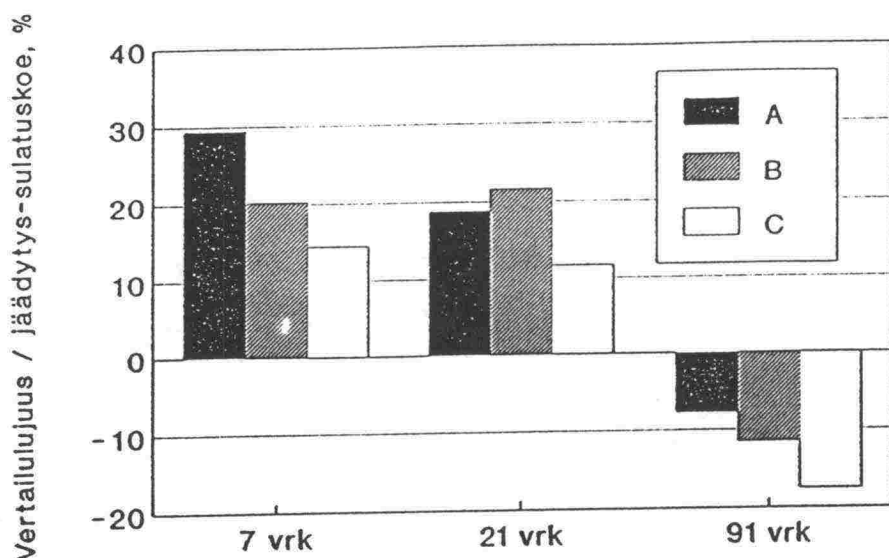


Kuva 11: Jäädytys- sulatuskokeen jälkeen mitattujen puristuslujuuksien suhteelliset hajonnat.

Verrattaessa massojen kokeen jälkeisiä lujuuksia vertailupuristuslujuuksiin havaitaan kokeen 7 ja 28 vrk:n puristuslujuuksien olevan suurempia kuin vertailulujuudet (kuva 12) eli lujuuskehitys on jatkunut kokeen aikana. Massalla A 7 vrk:n lujuus oli kokeen jälkeen 29,5 % ja 28 vrk:n lujuus 18,9 % suurempi kuin ennen koetta. Massan B vastaavat arvot olivat 20,3 ja 21,7 % sekä massan C arvot 14,5 ja 11,7 %. Massalla C lujuuskehitys oli siten vähäisintä.

Massojen 91 vrk:n kokeen jälkeiset lujuudet olivat sitä vastoin pienempiä kuin ennen koetta mitatut lujuudet (kuva 12) eli jäädytys-sulatusprosessi on heikentänyt kappaleiden rakennetta. Suhteelliset lujuudet ovat heikentyneet sitä enemmän mitä enemmän hienoainesta massa sisälsi. Lujuuden väheneminen oli massalla A 7,8 %, massalla B 11,5 % ja massalla C 17,8 %.

Aiemmassa tutkimuksessa Keuruun moreenimurskeella jäädytys-sulatuskokeessa lujuudet olivat hieman kasvaneet lukuunottamatta 28 vrk:n arvoa. Kokeessa toisena materiaalina olleen Lavian moreenimurskeen lujuusarvot olivat myös hieman kasvaneet. Molempien kokeiden perusteella voidaan tässä tapauksessa olettaa koekappaleen lujuuden kehitysvaiheella, rakeisuudella ja tiiviydellä olevan vaikutusta säänkestoon.



Kuva 12: Jäädytys-sulatuskokeen jälkeen mitatun puristuslujuuden suhde vertailupuristuslujuuteen.

Vertailukappaleita ja ko. kokeen koekappaleita säilytettiin vanhentamisen ajan muovilaatikoissa, joiden sisätila pidettiin kosteana. Jäädytys- sulatuskokeen aikana koekappaleet olivat kostean huovan päällä, josta ne imivät vettä kapillaarisesti. Kosteusolosuhteilla on tärkeä merkitys lujittumisproses- sissa. Laatikkosäilytyksen aikana veden saanti on häiriytynyt sitä enemmän mitä kauemmin niitä on vanhennettu. Parantuneet kosteusolosuhteet ovat vastaavasti lisänneet lujittumista nuoremmilla näytteillä.

Stabiloitavassa rakenteessa veden saannilla on suuri merkitys lujittumiseen. Rakenne tulee säilyttää kosteana jälkihoidolla, kastelemalla noin viikon ajan tai välittömästi päällystämällä. Laboratoriossa tehtävät ennakkokokeet eivät anna oikeaa kuvaa stabiloitavan rakenteen lujuudesta, jos kosteusolosuh- teet poikkeavat toisistaan.

Lujuuskehityksen lisäksi pakkasenkestävyyteen vaikuttava seikka on koekappaleen huokoskoko ja sen jakauma, varsinkin ilma- ja kapillaari- huokosten määrä ja suhde. Ne ovat riippuvaisia mm. materiaalin rakeisuu- desta, tiiviyydestä sekä hienoaineksen määrästä ja laadusta. Hydrataation aikana syntyy uusia kiteitä, mikä vaikuttaa huokosrakenteeseen. Pakkasen- kestoja ajatellen koekappaleiden huokosrakenne on saattanut muuttua epäedulliseksi ajan myötä. Myös kapillaarihuokosia on tullut lisää, mihin viit- taa 91 vrk:n näytteiden muita kosteampi pinta.

5.3 Rapautumiskoe

Koekappaleiden puristuslujuudet olivat ennen koetta vähintään 6 MN/m^2 . Aiemmassa tutkimuksessa riittävänä lähtölujuutena pidetään 4 MN/m^2 , joten näytteiden lujuus oli riittävä ajatellen sallittavaa 5 %:n painohäviötä. Kokeessa koekappaleiden painohäviö oli $\leq 3,2 \%$. Vähäisistä painohäviöistä huolimatta voidaan katsoa 91 vrk:n koekappaleiden kuluneen eniten. Ne kuluivat 21 - 30 % enemmän kuin 7 tai 28 vrk:n koekappaleet.

6 YHTEENVETO

Moreenin käyttökelpoisuutta tienrakennusmateriaaliksi alentaa käyttökohteisiin soveltumaton rakeisuus sekä usein moreenissa oleva orgaaninen aines. Käyttökelpoisuutta voidaan parantaa murskaamalla ja stabiloimalla. Stabilointia haittaavat moreenimurskeen runsas hienoaines ja sen rakeisuusvaihtelut sekä humus.

Kokeita varten suhteitettiin kolme hienoainesmäärältään erilaista rakeisuus-käyrää stabilointiohjeiden kiviaineksen ohjealueiden perusteella. Sementtipitoisuuden valinnassa stabilointimassoille apuna käytettiin ohjeiden nomogrammia.

Hienoaineksen vaikutuksesta moreenimurskeen pakkaskestävyyteen (säänkestävyyteen) voidaan puristuslujuus-, jäätymis- sulamis- ja rapautumiskokeen tulosten perusteella vetää seuraavia johtopäätöksiä:

1. Koekappaleiden rapautumiskestävyys hienoainesmäärästä riippumatta oli riittävä sallittavaa painohäviötä ($< 5 \%$) ajatellen, jos lähtölujuus oli vähintään $4 \text{ MN} / \text{m}^2$.
2. Hienoainesmäärän kasvu lisäsi samassa suhteessa sideaineen tarvetta tavoitelujuuteen pääsemiseksi.
3. Hienoainesmäärä heikensi jäätymis-sulamiskokeessa vanhimpien näytteiden lujuutta sitä enemmän, mitä enemmän ne sisälsivät hienoainesta. Syynä olivat vanhentamisvaiheessa tapahtuneet muutokset kosteusolosuhteissa sekä muutokset huokosrakenteessa. Poikkeamat optimikosteusolosuhteissa vaikuttavat oleellisesti lujuuskehitykseen. Hydrataation aikana syntyy uusia kiteitä, jotka vaikuttavat haitallisesti pakkaskestävyyteen, jos suojahuokosten määrä vähenee ja / tai kapillaarihuokosten määrä lisääntyy.
4. Hienoainesmäärän kasvu vaikeutti murskeen ja sideaineen sekoittumista tasaisesti keskenään, millä oli vaikutusta tulosten hajontaa lisäävästi.
5. Moreenimurskeen sisältämän humuksen, joka esiintyy suurelta osin hienoaineksessa, eliminoimiseksi riitti tavoitelujuuden vaatima sideainepitoisuus. Näillä pitoisuuksilla massojen pH -arvo nousi hydrataation kannalta edulliseksi. Täten ylimääräinen sideainelisäys humushappojen neutralisoimiseksi on tarpeeton.

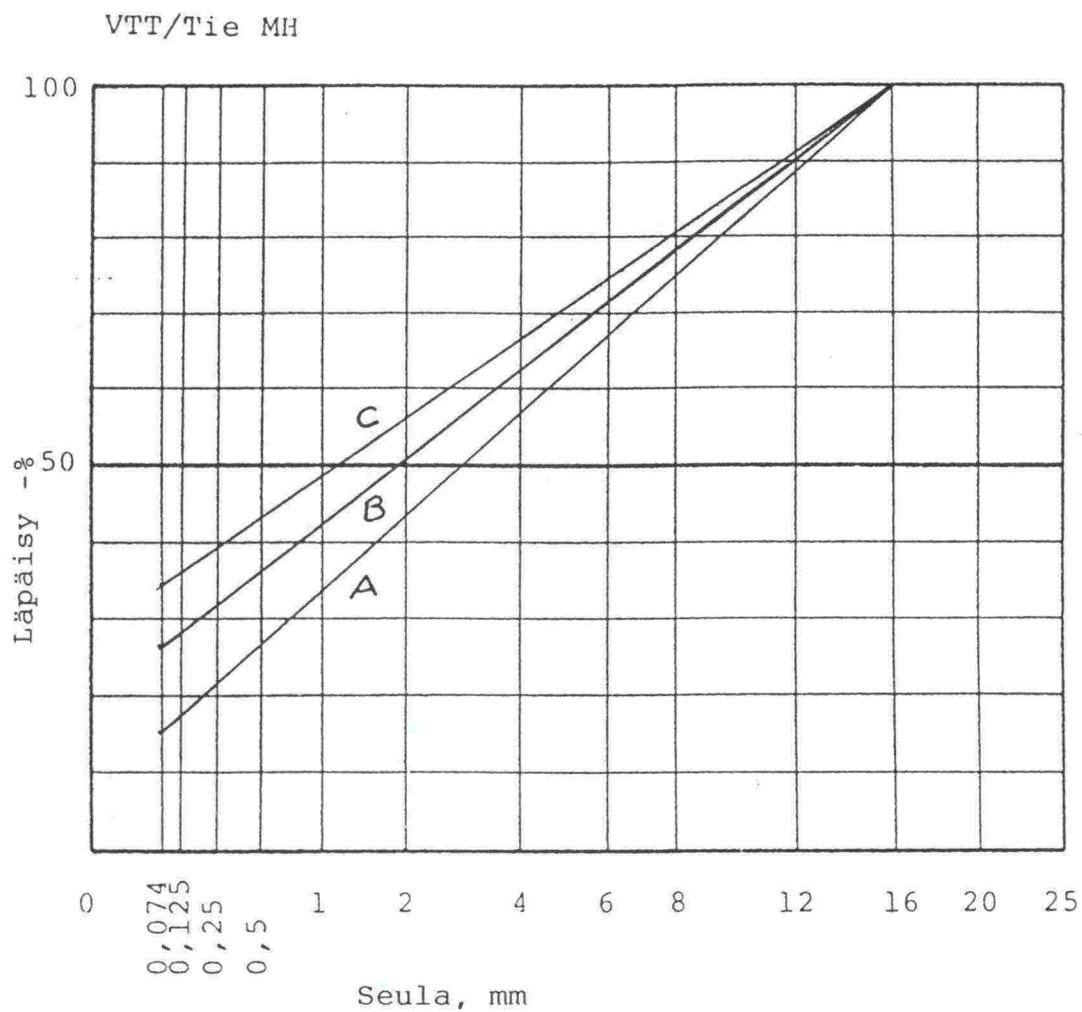
Tutkimuksessa tuli esille vielä seuraavia seikkoja, joilla on merkitystä suunnittelun ja rakentamisen kannalta:

1. Voimassa oleva stabilointiohjeen nomogrammi antoi sideainepitoisuudeksi selvästi alempia ja lähempänä kokeellisesti saatuja sideainepitoisuuksia kuin uusi nomogrammi. Ottamalla huomioon ohjeen mukainen lujuustaso- ja humuskorjain antoi uusi nomogrammi kaksinkertaisia sideainepitoisuuksia kokeellisesti saatuihin pitoisuuksiin nähden. Lisäksi vanha nomogrammi soveltui myös suuren hienoainesmäärän omaaville materiaaleille paremmin kuin uusi nomogrammi.
2. Hienoainesmäärän kasvu vaikeuttaa sideaineen sekoittumista tasaisesti kiviainekseen ja lisää varsinkin paikallasekoituksessa huomattavasti sekoitustyötä. Paikallasekoituksessa yhtä sekoituskertaa on pidettävä riittämättömänä.
3. Rakenteen jälkihoidolla on lopputuloksen kannalta oleellinen merkitys, koska lujuuskehitys on hyvin riippuvainen kosteusolosuhteista. Jälkihoidon laiminlyönti tai puutteellinen jälkihoito on selvä työvirhe, jolla pilataan muutoin hyvä lopputulos. Jälkihoitoon liittyy myös alustan riittävä esikastelu. Varsinkin karkealla alustalla runsaalla esikastelulla on tärkeä merkitys rakenteen riittävään kosteuteen.
4. Laboratoriossa tehtävät ennakkokokeet eivät aina anna oikeaa kuvaa tulevasta lujuudesta, jos kosteusolosuhteet poikkeavat toisistaan. Vaihtelua lisäävät vielä koekappaleiden erilaiset säilytystavat. Koekappaleilla tulisi selvittää massoista saatava maksimilujuus optimiolosuhteissa sekä kentällä saatava lujuus säilyttämällä osaa näytteistä kenttäolosuhteissa ulkona tai jäljittelemällä laboratoriossa kenttäolosuhteita säilytystavassa. Näin varmistetaan rakenteen riittävä alkulujuus ja se, ettei rakenteen lujuus nouse halkeilun kannalta liian suureksi.

KIRJALLISUUS

- /1/ Alkio, R, Moreenimurskeen stabilointikoe. Espoo 1983. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 403.
- /2/ Alkio, R, stabiloidun moreenin pakkaskestävyys. Espoo 1986. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 551.
- /3/ Stabilointiohjeet. TVH 2.614, 1973.
- /4/ Turunen, A, Sementtistabilointi, Espoo 1991. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. ASTO TR10 N:o 2.
- /5/ Meriläinen, J, Sementin ja masuunikuonan käyttö moreenin stabiloinnissa. Espoo 1986. Helsingin teknillinen korkeakoulu, TKK. Diplomityö.

Rakeisuuskäyrän laadinta tiiveimmän pakkauksen mukaisesti.



Ennakkokokeiden tulokset.

ENNAKKOKOKEET							
Massa	Sideainepitoisuus	Puristuslujuus MN/m 7 vrk					
	%	1	2	3	ka	kh	95-% luottamusväli
A	1,5	3,4	4,2	3,6	3,7	0,4	3,3 - 4,2
A	2,5	6,0	7,0	6,5	6,5	0,5	5,9 - 7,1
A	3,5	8,7	8,8	7,7	8,4	0,6	7,7 - 9,1
A	4,5	10,1	12,0	10,5	10,9	1,0	9,7 - 12,0
B	2,0	2,8	2,6	2,9	2,8	0,2	2,6 - 2,9
B	4,0	6,5	6,6	7,9	7,0	0,8	6,1 - 7,9
B	5,0	12,1	9,6	8,4	10,0	1,9	7,9 - 12,2
B	6,0	12,1	12,2	10,2	11,5	1,1	10,2 - 12,0
B	7,0	9,8	13,4	13,2	12,1	2,0	9,8 - 14,4
C	3,0	3,8	3,8	3,8	3,8	0,0	3,8 - 3,8
C	5,0	5,3	4,9	5,2	5,1	0,2	4,9 - 5,4
C	7,0	8,3	9,6	9,6	9,2	0,8	8,3 - 10,0
C	9,0	15,7	14,6	13,9	14,8	0,9	13,7 - 15,8
C	11,0	17,4	15,6	14,4	15,8	1,5	14,1 - 17,5

Puristuslujuus- ja rapautumistulokset.

Massa	JÄÄDYTYS - SULATUSKOE			RAPAUTUMISKOE						VERTAILULUJUUS		
	Puristuslujuus MN/m ²			Painohäviö %			Vesipitoisuus %			Puristuslujuus MN/m ²		
	7 vrk	28 vrk	91 vrk	7 vrk	28 vrk	91 vrk	7 vrk	28 vrk	91 vrk	7 vrk	28 vrk	91 vrk
A	7,8	8,6	9,6	2,4	2,4	3,0	4,6	4,3	4,6	6,1	7,8	10,2
A	7,6	9,0	9,2	2,4	2,2	2,9	4,6	4,3	4,6	6,1	7,4	9,9
A	8,2	8,9	9,3	2,4	2,5	2,9	4,6	4,5	4,5	6,0	7,0	10,5
B	7,3	8,4	9,8	2,6	2,5	3,2	5,4	5,2	6,0	6,3	5,2	7,7
B	7,2	8,5	8,5	2,3	2,2	2,6	5,5	5,2	5,5	5,4	6,6	10,4
B	6,9	8,3	9,2	2,4	2,2	2,8	5,4	5,1	5,4	6,0	7,1	10,3
C	9,7	10,6	13,0	1,9	1,9	2,9	5,5	5,2	6,2	8,2	8,0	12,9
C	9,6	11,0	10,5	2,3	2,0	2,4	5,7	5,2	6,2	8,3	9,6	15,3
C	9,3	9,8	10,9	1,8	2,0	2,5	5,6	5,8	5,9	8,5	9,1	13,7

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- | | |
|---------|---|
| 2/1990 | Liuskapystöjakenttien toiminnasta. TIEL 703344 |
| 3/1990 | Tiepenkereen holvautuminen; teoreettinen osa. TIEL 703343 |
| 18/1991 | Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tien luiskassa. TIEL 3200017 |
| 24/1991 | Teiden kantavuusvaihtelut 1987-89. TIEL 3200023 |
| 25/1991 | Tiepenkereen kantavuusvaihtelu ja laskennalliset kantavuudet.
TIEL 3200024 |
| 1/1992 | Pystyöjanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testaus-
menetelmät. TIEL 3200057 |
| 31/1992 | Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086 |
| 46/1992 | Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099 |

TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 1/1991 Kerrosten laatuvirheiden esto. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 5/1991 Massanvaihdon korvaaminen moreenitukiseinällä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 6/1991 Havupuuhaake pengertäytteenä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 13/1991 Tieverkkojen asentaminen, käytännön ohjeita. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 15/1991 Vairioinventoinnin tulosten käsittelyohjelmistot, lomake, mittari ja siirto. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 16/1991 Asfalttimassan suhteitus Marshal-menetelmän mukaan. Geopalvelukeskus
- 17/1991 Murskeen muodonmuutosominaisuudet tien rakennekerroksissa. Geopalvelukeskus
- 20/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Kalliokohdetutkimus. TIEL 4000003
- 21/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Pituushalkeamat osa I, Routanousun vaikutus halkeamatodennäköisyyteen. TIEL 4000004
- 22/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Pituushalkeamat osa II, Tien rakenne- ja olosuhdetekijöiden vaikutus tien routanousuihin. TIEL 4000005
- 34/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Pituushalkeamat osa III, Elävät pituushalkeamat ja niiden syntymistodennäköisyys routivassa tierakenteessa. TIEL 4000017
- 35/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Kuivatustutkimus osa I sekä roudan syvyys-havainnot. TIEL 4000018
- 23/1991 Betonipäällysten seuranta; Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 25/1991 Tiivistyskurssi; Maarakenteiden tiivistäminen. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1991 Omajohtoisissa töissä käytetyn tiivistyskaluston nykytilaselvitys vuosilta 1987-90. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 27/1991 Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti I. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 32/1991 Moreenin käyttö tierakenteissa. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 20/1992 Vanhojen tienrakennekerrosten uudelleen käyttö. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1992 Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rakennekerroksissa, esiselvitys. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 32/1992 Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti II; Prosessikipsin ja biotiitin materiaalitutkimukset. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 42/1992 Pehmeikölle perustettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 43/1992 Pehmeikölle rakennettavien tieleikkausten geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 44/1992 Saven varaan perustetut alikulkukäytävät. Geopalvelukeskus